

mgr inż. Jakub Sierant\*

# System Ischebeck TITAN skuteczny sposób zabezpieczania głębokich wykopów drogowych

Liczba awarii skarp drogowych, spowodowanych procesami przypowierzchniowymi i osuwiskami, pokazuje, że problem właściwego zabezpieczenia skarp wykopów jest niedoceniany. Większość przypadków awaryjnych dotyczy tras nowo powstałych na skarpach o nachyleniu ok.  $35^\circ$  i średniej wysokości  $\sim 6$  m. Brak świadomości poprawnego traktowania tego typu obiektów inżynierskich staje się niestety wyraźny. Coraz częściej pojawiają się śmiałe wizje projektantów, w których skarpy drogowe mają wysokość 17 – 20 m i nachylenie do  $90^\circ$ . Sytuację dodatkowo komplikuje fakt, że te ambitne projekty zlokalizowane są w górzystych rejonach, w warunkach fliszu karpackiego. Niejednorodność ośrodka gruntowego, zaburzenia tektoniczne, zmienny udział facji litologicznych, zróżnicowane parametry wytrzymałościowe sprawiają, że zagadnienia stateczności skarp zaczynają wykraczać poza ogólnie przyjęte do tej pory schematy. W związku z tym obiekty te wymagają specjalnego podejścia projektowego i starannego wykonawstwa.

W artykule omówię niektóre zagadnienia dotyczące projektowania i wykonawstwa skarp, na przykładzie zrealizowanego zabezpieczenia skarpy głębokiego wykopu na odcinku C1 drogi ekspresowej S-69, relacji Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń. Zabezpieczenie wykopu jest już czwartym tego typu obiektem inżynierskim wykonanym w ramach budowy nowej drogi ekspresowej. Chociaż wszystkie obiekty zabezpieczono w technologii gwoździowania gruntu (system Ischebeck TITAN) i zlokalizowane są w bliskim sąsiedztwie, wymagały indywidualnego podejścia.



Widok ściany gwoździowanej



Widok zabezpieczenia doraźnego membrany drenującej i gotowych paneli

## Charakterystyka skarpy i warunki geologiczno-inżynierskie

Zabezpieczana skarpa głębokiego wykopu zlokalizowana jest w ciągu budowanej drogi ekspresowej S-69, na odcinku Milówka – Szare, w km od 17+100 do 17 + 537,13. Droga, po przekroczeniu doliny Kamesznicy efektywnym mostem, biegnie w wykopie, rozcinając wzniesienie i podcinając zbocze doliny. Szczytowy fragment wzniesienia to pozostałości starego kamieniołomu piaskowca. W dalszej części (w kierunku południowo-zachodnim) wykop wykonano we fliszowych utworach zboczowych. W geometrii skarpy można wydzielić dwie strefy o zmiennym nachyleniu. Górna część ma spadek 1:1,5, po czym następuje niewielkie wypłaszczenie (półka), poniżej którego nachylenie skarp wynosi 5:1, przy maksymalnej wysokości 18 m. Bezpośrednio nad koroną skarpy znajduje się droga krajowa do przejścia granicznego w Zwardoniu.

W celu ustalenia rzeczywistych warunków geologiczno-inżynierskich projektowanego wykopu przeanalizowano dokumenty archiwalne odcinka C1, wyniki badań i doświadczeń zebranych przy realizacji podobnej inwestycji na odcinku D2. Natomiast w celu uzyskania precyzyjnych informacji niezbędnych do modelowania i obliczeń stateczności skarp rozpoznano stan górotworu (z uwzględnieniem niejednorodności ośrodka oraz uwarunkowań tektonicznych), wykonując wykopy badawcze w linii projektowanej skarpy. W trakcie uzupełniających prac terenowych wykonano kartowanie geologiczno-inżynierskie wyrobisk badawczych, zebrano informacje umożliwiające określenie jakości (klasy) górotworu, jego tektoniki oraz pobrano próbki

\* TITAN POLSKA

do badań laboratoryjnych. Badania ujawniły dużą niejednorodność górotworu w obrębie projektowanej skarpy. Występowały utwory drobnorytmicznego fliszu karpackiego, wykształcone w postaci łupków ilastych i mułowcowych, cienkie laminy łupkowe grubości 0,5 – 1,5 cm były silnie spękałe, zaburzone tektonicznie, rozsywały się. Miejscami skalne ławice łupkowe miały strukturę bezładną z zatartym warstwowaniem. Udział piaskowca w obrębie projektowanej skarpy był na ogół znikomy, utwory mocno zwietrzałe, warstwy piaskowcowo-łupkowe silnie spękałe, rozsypliwie. Górotwór miał dużo szczelin (powierzchnie spękań i szczelin były gładkie), które były wypełnione zwietrzeliną. Masyw skalny charakteryzował się zmiennymi warunkami tektonicznymi, co było widoczne w przypadku wykopu badawczego. Warstwy zapadały się w kierunku południowo-wschodnim, pod kątem 30 – 55°. W stosunku do projektowanego przebiegu lewej skarpy, w wykopie dało się zaobserwować układ obsekwentny, choć z lokalnymi zaburzeniami. Dominujące kierunki spękań, wzdłuż których następowało odspajanie fragmentów skalnych, tworzą najczęściej układ prostopadły, o nachyleniu 55 – 85°.

Z wykopów badawczych pobrano próbki do badań laboratoryjnych i poddano je ścinaniu w aparacie AB, tak aby powierzchnia ścicia przebiegała wzdłuż powierzchni osłabienia strukturalnego (wzdłuż uławicenia). Uzyskano następujące wyniki:

- gęstość objętościowa  $\gamma$  – 23,7 – 24,10 kN/m<sup>3</sup>;
- wilgotność naturalna – 7,01 – 7,32 %;
- spójność  $c$  – 13,6 – 325 kPa;
- kąt tarcia wewnętrznego  $\phi$  – 16,9 – 26,5°.

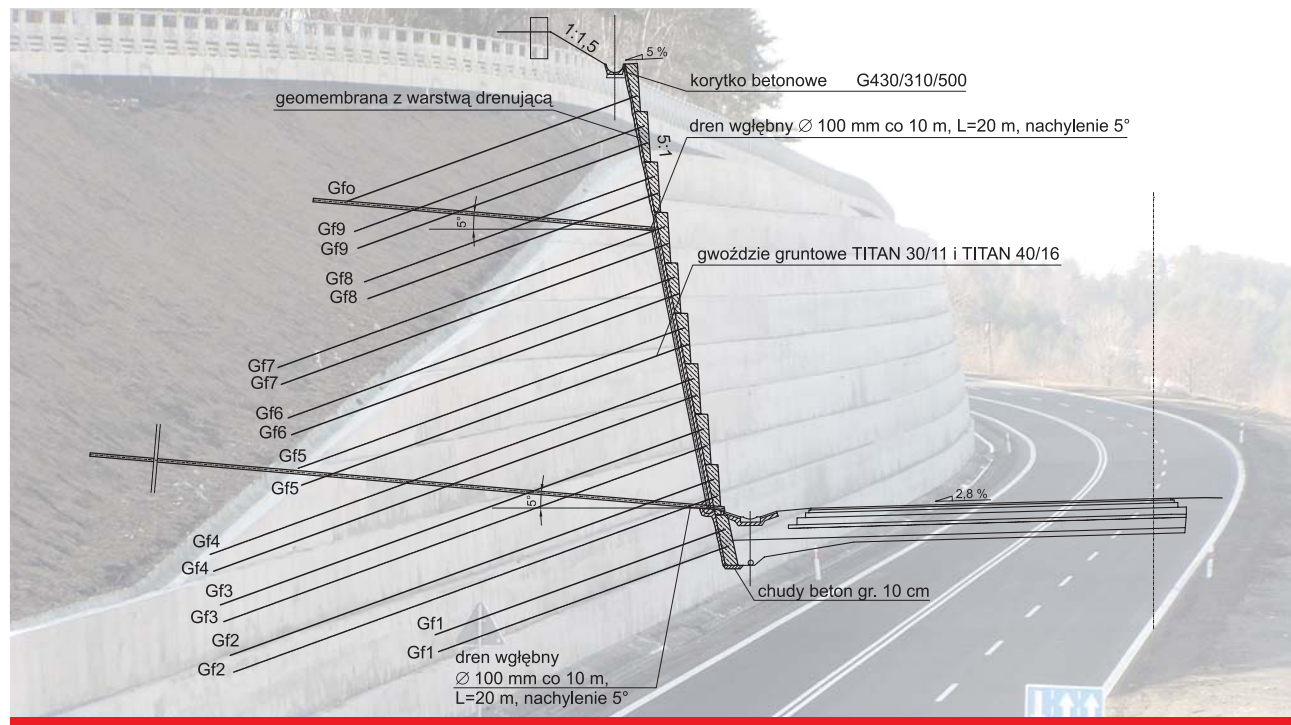
Właściwości próbek pobranych z rdzeni wiertniczych (opracowania archiwalne) oraz bezpośrednio z wykopu określono na najmocniejszych partiach pobranego materiału (próbki są wycinane do wymiarów aparatu badawczego).

W przypadku licznych zmiennych zaburzeń tektonicznych ośrodka gruntowego i dużej lokalnej zmienności utworów parametry uzyskane metodami laboratoryjnymi (jako rodzaj badania punktowego) są zazwyczaj zawyżone i przypisywanie ich do całego górotworu jest obarczone sporym błędem. W związku z tym niezbędne było wykonanie wykopów badawczych i skorelowanie parametrów geotechnicznych z rzeczywistym stanem masywu (obserwacje *in situ*). Dało to podstawy do bezpiecznego urealnienia parametrów przyjmowanych do obliczeń. Ze względu na dużą anizotropię ośrodka gruntowego parametry geotechniczne opisywano na podstawie klasyfikacji jakości górotworu Hoeka-Browna. Kryterium wytrzymałości masywu skalnego Hoeka-Browna pozwala uwzględnić takie cechy górotworu, jak: litologia, stopień zwietrzienia, łatwość odspajania okruców, szczelinowatość, zawilgocenie, stopień zaburzenia mikrotektonicznego. Uogólnione parametry geotechniczne projektowanej skarpy, opisujące cały górotwór:

- gęstość objętościowa  $\gamma = 24,0$  kN/m<sup>3</sup>;
- spójność  $c = 25$  kPa;
- kąt tarcia wewnętrznego  $\phi = 15^\circ$ .

### Projektowanie zabezpieczenia

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń ustalono, że do zabezpieczenia stateczności skarp wykorzystane zostaną zespoły gwoździ z dwoma rodzajami zbrojenia: TITAN 30/11 oraz TITAN 40/16. Nachylenie gwoździ (20°) ustalono na podstawie geometrii powierzchni poślizgu, tak aby przy optymalnej długości uzyskać najkorzystniejszą charakterystykę pracy. Rozstaw gwoździ był stały na całej długości skarpy i wynosił 1,5 x 1,5 m. Długość gwoździ gruntowych, w zależności od wysokości skarpy zasadniczej i konfiguracji naziomu, wynosiła od 9 do 18 m. Sumaryczna długość gwoździ to 22 851 m.b.



Schemat zabezpieczenia skarpy w technologii Ischebeck TITAN

Przewidziano dwustopniowe zabezpieczenie powierzchni ściany gwoździowanej. Pierwszy etap polegał na tymczasowym zabezpieczeniu powierzchni odsłoniętej skarpy w każdym z poziomów gwoździowania za pomocą obrzutki torkretowej grubości ~6 cm. Docelowo lico ściany zostało zabezpieczone na ścianie panelami żelbetowymi wylewanymi na mokro.

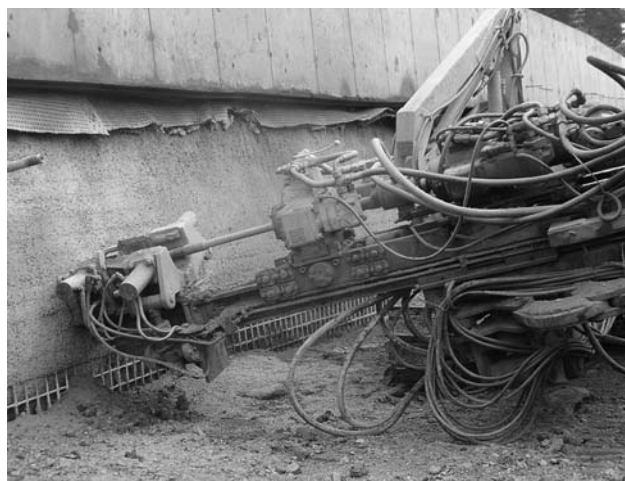
Jako odwodnienie skarpy przyjęto dwustopniowy system drenażu: wgłębny i powierzchniowy. Do odprowadzenia wody z lica skarpy wykorzystano geomembranę Tefond Drain, układaną na perforowanym torkrecie, a z geomembrany – dren zbiorczy wykonany w podstawie skarpy. Odwodnienie wgłębne stanowił system drenów poprzecznych długości 20 m, a w wyższych sekcjach skarpy – drenów długości 10 m. Rozstaw poziomy drenów wynosi 10 m. W miejscach lokalnych wycieków zainstalowano drenaże miejscowe długości 10 m. Średnica wszystkich drenów wynosi  $\phi$  100 mm. Wodę z drenów górnych i miejscowych odprowadzają karbowane rury spustowe PVC, nieperforowane, średnicy 100 mm, włączane do drenu zbiorczego u podstawy skarpy.

Do obliczeń stateczności skarpy oraz określenia niezbędnej długości, nośności oraz rozstawu gwoździ gruntowych użyto programu GGU-STABILITY z modułem GGU-NAIL (do ścian gwoździowanych), niemieckiej firmy GGU-Software. Pozwala on na modelowanie zabezpieczenia skarpy metodą gwoździowania. Bada się stateczność ogólną zabezpieczanej skarpy, równowagę bryły gruntu gwoździowanego oraz nośność gruntu pod podstawą skarpy, ryzyko wystąpienia ścicia po końcówkach gwoździ. W obliczeniach uwzględniano tzw. „spójność odgwoździową”, tzn. efekt wzrostu kohezji naturalnej ośrodka, wynikający z zabrojenia masywu regularną siatką gwoździ. Przyrost kohezji (z uwzględnieniem współczynnika bezpieczeństwa) zawierał się w przedziale 15 – 30 kPa.

Obliczenia stateczności łamanych (nie kołowo-cylindrycznych) powierzchni poślizgu przeprowadzono metodą Janbu (metoda pasków), gdyż wiernie odwzorowuje ona zachowanie masywu skalnego naruszanego wykopem. W obliczeniach rozpatrywano stateczność skarp powierzchni poślizgu o nachyleniu 55 – 85°, co odpowiada przebiegowi preferowanego kierunku zniszczenia masywu, wynikającego z orientacji przestrzennej zaburzeń mikrotek-



Widok fragmentu skarpy skalnej zabezpieczonej siatką



Wykonywanie gwoździ gruntowych

tonicznych. Nośność gwoździ gruntowych obliczano automatycznie (nie były z góry narzucone) dla określonych parametrów gwoździ: średnicy efektywnej buławy  $D$ , współczynnika tarcia płaszczyznowego  $q_{sk}$  oraz rozstawu. Parametry te wynikają z zastosowanej technologii gwoździowania – systemu Ischebeck TITAN.

### Zalety metody a interaktywność projektu

Technologię ścian gwoździowanych Top-Down opisano w „Materiałach Budowlanych 4/2005 i 4/2006”. Jest to jedna z niewielu technologii gwarantująca uzyskanie zakładanego celu w przypadku tak trudnych warunków drobnorytmicznego fliszu karpackiego. Stopniowe głębienie wykopu, płytkimi (ok. 1,5 m) etapami, z jednoczesnym zabezpieczaniem każdego poziomu, bez kontrolowania chwilowej stateczności ściany, pozwala reagować na pojawiające się nieprzewidziane zjawiska, np. wyraźnie odmienne warunki gruntowe. Przy realizacji projektu dwukrotnie zaistniała potrzeba modyfikacji przyjętego rozwiązania. Pierwsza związana była z przecięciem niewychwyconej wcześniej strefy uskokowej szerokości ok. 30 m, w której występowały silnie przeobrażone utwory, rozłusowane i zmielone łupki przypominające ropy i gliny, bez żadnych artefaktów struktury skalnej. Wiązało się to ze znacznym obniżeniem parametrów wytrzymałościowych ośrodka gruntowego. Konieczne więc było dostosowanie długości gwoździ oraz wprowadzenie dodatkowych gwoździ, tzw. zastrzałów, podpierających lico panele żelbetowe, w strefie przypowierzchniowej, gdzie odpór gruntu pod gwoździami układu zasadniczego okazał się niewystarczający. Druga modyfikacja projektu dotyczyła dostosowania długości gwoździ oraz sposobu zabezpieczenia lica ściany w rejonie wykopu zlokalizowanego w obrębie wychodni piaskowca. W strefie tej jako zabezpieczenie powierzchniowe zastosowano siatkę przeciwrumowiskową Geobru gg TECCO, płynnie łącząc rozwiązanie pierwotne z zachowaniem naturalnej estetyki ściany skalnej. Obie modyfikacje projektowe pozwoliły zachować poprawność techniczną rozwiązania przy optymalnej ekonomii.

Zagadnienia omawiane w artykule zostały przedstawione w skrócie, jednak mam nadzieję, że wzbudzą refleksje na temat właściwego traktowania zagadnień dotyczących stateczności skarp drogowych.